

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод перемещения индуктора закалочного станка

УДК 62-83:621.785.545.07

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г6А1	Мукашев Алибек Мухтарович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тимошкин В.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Якимова Т. Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пашков Е.Н.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Доцент ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воронина Н.А	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код Результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> .
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) Воронина Н.А.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г6А1	Мукашеву Алибеку Мухтаровичу

Тема работы:

Электропривод перемещения индуктора закалочного станка	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№330-35/с от 25.11.2020г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2021г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации на задвижку
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
Перечень графического материала	Кинематическая схема Функциональная схема электропривода Структурная схема электропривода Схема имитационной модели электропривода Переходные процессы САУ РЭП
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Татьяна Борисовна
Социальная ответственность	Пашков Евгений Николаевич
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Все разделы выпускной квалификационной работы написаны на русском языке.	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	18.11.2020г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тимошкин В.В.	к.т.н.		18.11.2020г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г6А1	Мукашев Алибек Мухтарович		18.11.2020г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2020 /2021 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2021г.
--	--------------

Дата Контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
24.05.2021	Основная часть	60
10.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
14.05.2021	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тимошкин В.В.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Доцент ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воронина Н.А.	к.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 88 страниц, 30 рисунков, 27 таблиц, 18 источников.

Объектом исследования данной работы является электропривод перемещения индуктора вертикального закалочного станка.

Цель работы – спроектировать электропривод перемещения индуктора закалочного станка.

Система управления электропривода исследована на ЭВМ методом итерационного моделирования в линеаризованном и нелинейном представлении с использованием прикладных программ.

В работе производились исследования проектируемого электропривода при введении ограничения выходного напряжения регуляторов, зависимого токоограничения. Механическая система рассмотрена в двухмассовой системе.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010. в работе использованы программы Mathcad, Matlab.

Оглавление

Введение	1
1. Описание технологического процесса	11
1.1. Технологический процесс цеха	11
1.2. Технологический процесс вертикально закалочного станка	11
1.3. Кинематическая схема механизма перемещения индуктора	13
1.4. Выбор системы электропривода	14
1.5. Выбор элементов и расчет параметров регулируемого электропривода	15
1.5.1. Выбор электродвигателя	15
1.5.2. Расчет параметров механической системы	18
1.5.3. Функциональная схема электропривода и ее основные элементы	23
1.5.4. Выбор трансформатора	25
1.5.5. Выбор сглаживающего реактора	28
1.5.6. Расчет параметров силовой цепи	29
1.5.7. Проверка области существования электромеханических характеристик электропривода	30
1.5.8. Расчет параметров преобразователя	35
1.5.9. Структурная схема и параметры силовой цепи	38
2 Синтез и анализ линеаризованной системы автоматического управления регулируемого управления	40
2.1. Структурная схема линеаризованной САУ РЭП	41
2.2. Оптимизация контура тока	41
2.3. Оптимизация контура скорости	44
2.4. Анализ нелинейной САУ РЭП	47
2.5. Структурная схема нелинейной САУ РЭП	47
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕССУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	53
SWOT-анализ	54
Организация работ технического проекта	57
Структура работ в рамках технического проекта	58
Определение трудоемкости ТП	60
Разработка графика проведения технического проекта	461
Расчет затрат на осуществление технического проекта	65

Полная заработная плата исполнителей темы	66
Формирование сметы затрат.....	68
Определение ресурсоэффективности проекта.....	69
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА.....	72
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	72
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	74
2. Производственная безопасность	76
3. Экологическая безопасность	81
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	82
Заключение	86
Литература.....	87

Введение

Электрический привод- это техническая система, которая служит для преобразования электрической энергии в механическую энергию. Эта энергия является незаменимой в различных технологических процессах. Большинство агрегатов, рабочих машин, технологических комплексов и линий приводится в движение электроприводом.

Известно, что все металлические изделия, которые претендуют на высокое качество, в процессе изготовления подвергаются закалке. Давайте разберемся, что же это такое. Закалка – это действие, в ходе которого металлу придается дополнительная прочность и твердость. Процесс заключается в нагреве металла до высокого показателя температуры, и затем его охлаждении.

Существуют разнообразные способы закалки, которые, соответственно, дают различный результат для одного и того же металла, но самым распространенным и высокопроизводительным методом является индукционная закалка.

Индукционная закалка- вид термической обработки, при котором деталь помещают в индуктор и разогревают за счет наведения в ней токов высокой частоты. В то же время, середина нагреваемой детали, остается незначительно нагретой. Сам индуктор выполняют из меди, и его конфигурация зависит от формы детали, которую необходимо закалывать.

Основные преимущества индукционной закалки: возможность контроля режима закалки, возможность подвергать закалке отдельные части детали, высокая прочность закаленных деталей, равномерность нагрева, отсутствие закалочных трещин. Единственным минусом данного метода закалки является высокая стоимость установок, поэтому их рационально использовать при многосерийном производстве.

Цель данной выпускной квалификационной работы- разработка электропривода для перемещения индуктора в закалочном станке. Основной

характеристикой является обеспечения регулирования скорости в заданном диапазоне с требуемой точностью и быстродействием.

1. Описание технологического процесса

1.1. Технологический процесс цеха

Из литейных цехов и машин непрерывного литья заготовок сырье поступают в кузнечные термические цеха. Крупногабаритные изделия изготавливаются на прессовом участке. А для молотового участка, на заготовительном участке бьюмы режутся на мелкие заготовки.

Затем из прессового и молотового участков детали попадают в термическое отделение где они подвергаются термообработкой качество, которой зависят от точности соблюдения нагрева и охлаждения обрабатываемой детали по времени. И в последствии готовые изделия отправляются заказчику.

Взаимодействия между подразделениями цеха показаны на рисунке 1.

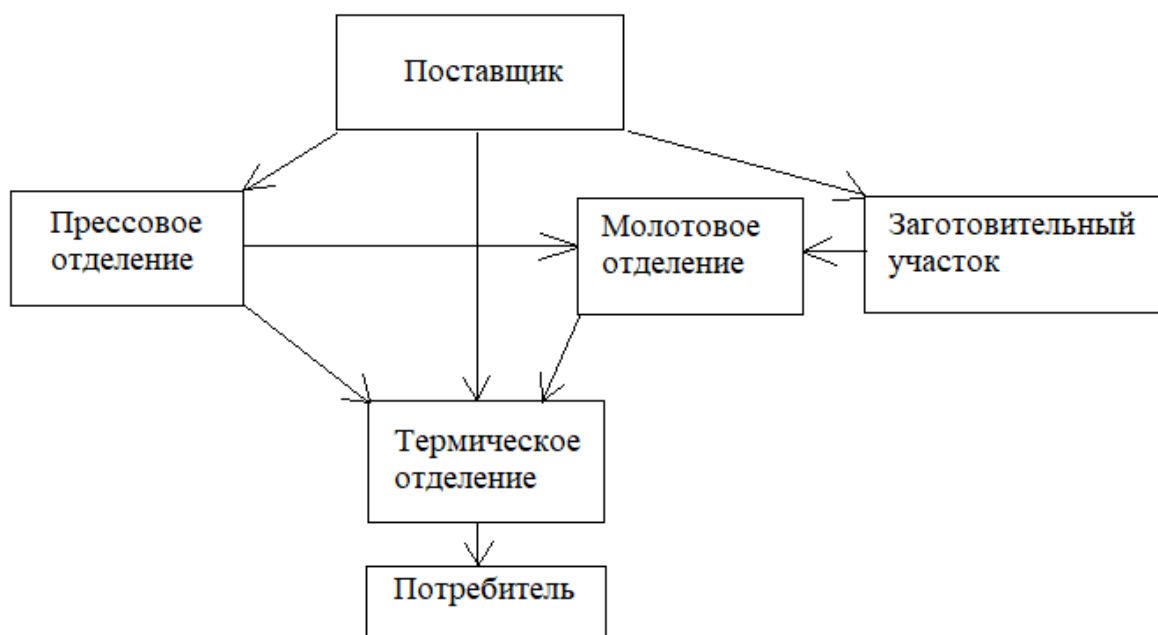


Рисунок 1- Взаимодействия подразделений цеха

1.2. Технологический процесс вертикально закалочного станка

Вертикальный закалочный станок с помощью токов высокой частоты с последующем охлаждением служит для закалки крупногабаритных деталей. Станок обладает частотой 2,5 кГц. Наибольшая мощность, снимаемая с закалочного контура, 400 кВт.

Для того что бы обеспечить благоприятные условия для охлаждения нагретой поверхности детали, которые закаливают устанавливаются вертикально. Благодаря этому минимизируется деформация детали, и повышается твердость закаливаемого слоя.

Закалочная операция может выполняться тремя способами:

- непрерывно-последовательный- деталь остается неподвижной, а индуктор перемещается вдоль неё;
- одновременный- деталь вращается, а индуктор неподвижен;
- последовательный- данный метод позволяет провести поочередную закалку отдельных частей детали.

Станок имеет шесть циклов работы:

1. закалка цилиндрических, прямозубых, косозубых шестерен выполняется непрерывно-последовательным способом;
2. закалка нижней части венца цилиндрических шевронных шестерен и валов-шестерен выполняется непрерывно-последовательным способом;
3. закалка верхней части венца цилиндрических шевронных шестерен и валов-шестерен выполняется непрерывно-последовательным способом;
4. закалка гладких и шлицевых валов непрерывно-последовательным способом;
5. закалка шеек валов и других деталей одновременный способ;
6. закалка гладких валов с самоотпуском последовательный способ.

Каждый цикл может осуществлять работу в трех режимах: наладочном, кнопочном и автоматическом.

При работе станка в наладочном режиме деталь устанавливается и проводятся работы для выбора режима закалки.

При работе в кнопочном режиме закалка детали происходит от кнопок управления, которые расположены на главном и дублирующем пультах.

Данный режим называется полуавтоматическим, так как автоматизирован только нагрев и охлаждение.

При работе в автоматическом режиме процесс заковки происходит от кнопки «цикл пуск», которые расположен на главном пульте.

1.3 Кинематическая схема механизма перемещения индуктора

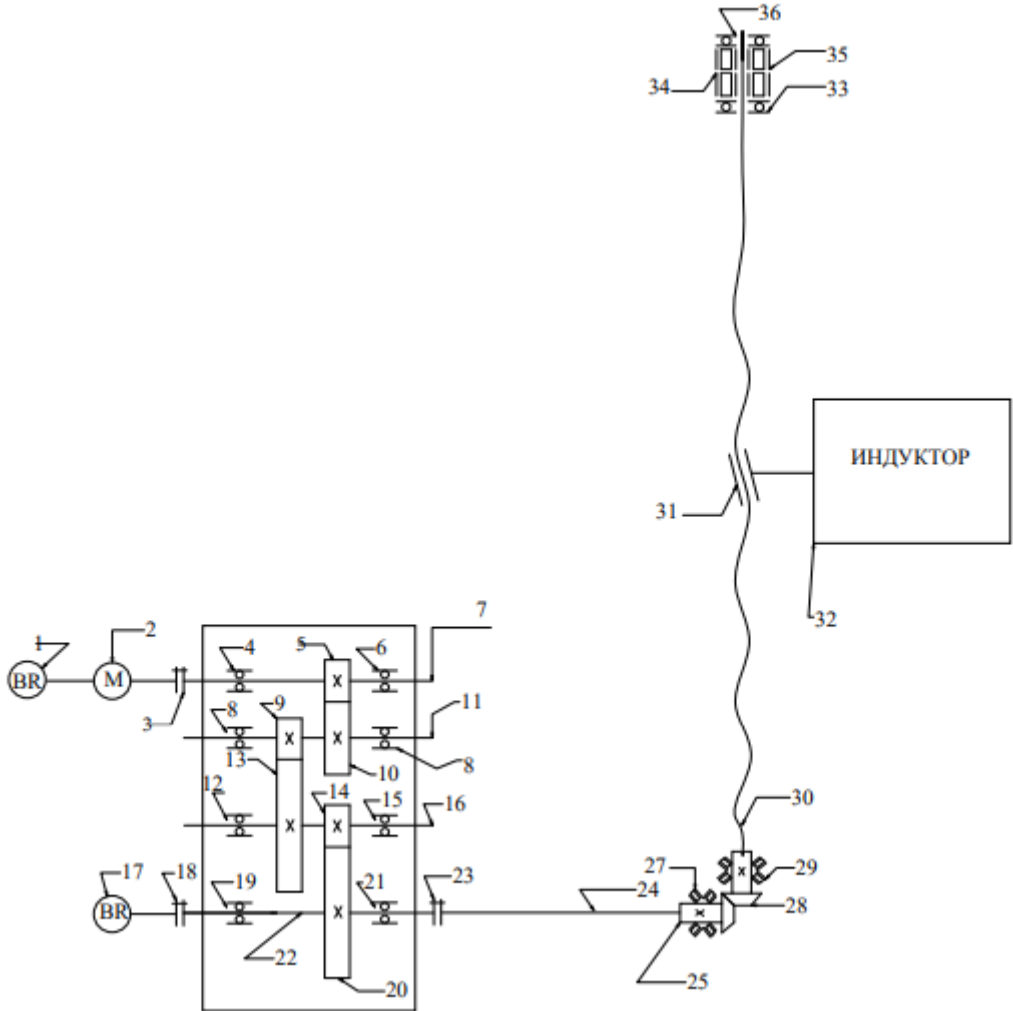


Рисунок 2- Кинематическая схема перемещения индуктора

Характеристики элементов кинематической схемы

Таблица 1- Подшипники

d, мм	D, мм	b, мм	Позиция на схеме	Количество
40	80	18	4, 6	2
45	85	19	8, 10	2
50	90	20	12, 15	2
60	110	22	19, 21	2
75	130	27,5	27, 34	2
65	100	27	29	1

70	125	40	33, 36	2
65	100	35	35	1

Таблица 2- Шестерни

Узел	Вал на схеме	Деталь на схеме	Число зубьев	Модуль	Материал
Редуктор подъема каретки	7	5	24	2,5	40х
	11	10	60	2,5	
	16	13	60	3	
	11	9	24	3	
	16	14	18	4	
	22	20	48	4	

Таблица 3- Валы

Вал на схеме	d, мм	L, мм	m, кг	Материал
7	40	560	5,4	40х
11	45	560	6,95	
16	50	560	8,58	
22	60	560	12,35	
24	70	1100	33	
30	70	5680	170,5	

1.4 Выбор системы электропривода

В настоящее время электродвигатели переменного тока широко используются в промышленности, благодаря простой технологичной конструкции, высоким энергетическим показателям, надежности и стабильности. Но в нашем случае стоит отдать предпочтение двигателю постоянного тока, так как данный двигатель обеспечивает регулирование скорости в заданном диапазоне с требуемой точностью и быстродействием.

Основные преимущества двигателя постоянного тока:

- допускает регулирование скорости в широких пределах;
- мягкая механическая характеристика;
- электрическое торможение у двигателей постоянного тока осуществляется проще и дает результаты лучше, чем у асинхронных двигателей;

- стоимость аппаратуры управления электроприводов переменного тока намного выше аппаратуры постоянного тока.

Для выбора системы регулирования координат рассмотрим основные системы преобразовательных устройств, которые обычно используют для питания двигателя постоянного тока:

- генератор-двигатель;
- транзисторный преобразователь-двигатель;
- тиристорный преобразователь-двигатель.

Сравним преобразователи и выберем наиболее приемлемый.

Таблица 4- Сравнительный анализ преобразователей

	Достоинства	Недостатки
Генератор-двигатель	Не вносит изменение в питающую мощность; позволяет плавно регулировать скорость двигателя.	Низкий КПД; необходимо большое количество коммутационной аппаратуры.
Транзисторный преобразователь-двигатель	Высокий КПД (98%); простота управления транзистором.	Система ограничена мощностью элементной базы (транзисторов).
Тиристорный преобразователь-двигатель	Высокий КПД (96-99%); современная элементная база; практически бесшумная работа.	Вносит изменение в питающую мощность.

Проанализировав таблицу 4 можно сделать вывод о том, что более оптимальная система регулирования электропривода перемещения индуктора закалочного станка будет тиристорный преобразователь-двигатель (ТП-Д).

1.5 Выбор элементов и расчет параметров регулируемого электропривода

1.5.1 Выбор электродвигателя

Мощность является главным аспектом выбора двигателя. Номинальная мощность выбранного двигателя должна быть больше мощности, рассчитанной с помощью исходных данных.

$$P_{\text{дв.ном}} = M_{\text{дв.ном}} \cdot \omega_{\text{дв.ном}}$$

Номинальный момент двигателя находится, как:

$$M_{\text{дв.ном}} = M_{\text{тр}} + M_{\text{под}}$$

Момент трения перемещения индуктора:

$$M_{\text{тр}} = \frac{mg\mu P}{2\pi\eta_{\text{пер}}}$$

где m - масса поднимаемого груза;

$\mu = 0,04 \div 0,1$ - коэффициент трения в направляющих скольжения;

$P = 0,01$ м- шаг резьбы винта;

$\eta_{\text{мех}} = 0,94$ - КПД перемещения механизма.

Масса поднимаемого груза:

$$m = m_1 + m_2 + m_3 = 1150 + 1550 + 300 = 3000 \text{ кг}$$

где $m_1 = 1150$ кг- масса каретки закалочного трансформатора;

$m_2 = 1550$ кг- масса закалочного трансформатора;

$m_3 = 300$ кг- масса салазок трансформатора.

$$M_{\text{тр}} = \frac{3000 \cdot 9,81 \cdot 0,05 \cdot 0,01}{6,28 \cdot 0,94} = 2,49 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$$

Момент подачи индуктора:

$$M_{\text{под}} = \frac{F_{\text{п}} R}{2\pi\eta}$$

где $F_{\text{п}}$ - максимальная осевая сила;

$R = 0,035$ м- радиус винта.

Максимальная осевая сила:

$$F_{\text{п}} = \frac{mg}{i\eta}$$

где $\eta = 0,7$ - КПД винт- гайка;

i - передаточное число винт- гайка.

$$i = \frac{2\pi R}{P} = \frac{3,14 \cdot 0,07}{0,01} = 22$$

$$F_{\text{п}} = \frac{3000 \cdot 9,81}{22 \cdot 0,7} = 1911,04 \text{ Н}$$

$$M_{\text{под}} = \frac{1911,04 \cdot 0,035}{6,28 \cdot 0,7} = 15,21 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.ном}} = 2,49 + 11,33 = 17,7 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$$

Номинальная угловая скорость двигателя находится, как:

$$\omega_{\text{дв.ном}} = \frac{\pi n_{\text{max}} i_{\text{ред}}}{30}$$

где $n_{\text{max}} = 180$ об/мин- максимальная скорость перемещения индуктора;

$i_{\text{ред}}$ - передаточное число редуктора.

$$i_{\text{ред}} = i_1 i_2 i_3$$

где $i_1 = 2,5$ - передаточное число косозубой передачи;

$i_2 = 2,5$ - передаточное число первой прямозубой передачи;

$i_3 = 2,67$ - передаточное число второй прямозубой передачи.

$$i_{\text{ред}} = 2,5 \cdot 2,5 \cdot 2,67 = 16,6875$$

$$\omega_{\text{дв.ном}} = \frac{3,14 \cdot 180 \cdot 16,6875}{30} = 314,4 \text{ рад/с}$$

Номинальная мощность для двигателя:

$$P_{\text{дв.ном}} = 17,7 \cdot 314,4 = 5,6 \text{ кВт}$$

Выбираем двигатель 2ПБ160МУХЛ4 с номинальной мощностью 7,1 кВт.

$$P_{\text{дв.ном}} = 7,1 \text{ кВт} \geq P_{\text{дв.ном.расч}} = 5,6 \text{ кВт}$$

Условие выполняется.

Таблица 5- Параметры двигателя 2ПБ160МУХЛ4

$P_{\text{дв.ном}}$	$U_{\text{н.дв}}$	$n_{\text{н.дв}}$	η	$R_{\text{я}(+15)}$	$R_{\text{дп}(+15)}$	$L_{\text{я}}$	$J_{\text{дв}}$
кВт	В	об/мин	%	Ом	Ом	мГн	кг · м ²
7,1	220	3000	85,5	0,081	0,056	2,6	0,083

Для электродвигателей 2ПБ используется тахогенератор типа ТС1.

Таблица 6- Параметры тахогенератора ТС1

Напряжение	Частота	Коэффициент передачи
$U_{\text{тг}}, \text{В}$	$n_{\text{тг}}, \text{об/мин}$	$k_{\text{тг}}, \text{В} \cdot \text{с/рад}$
33	1000	0,315

1.5.2 Расчет параметров механической системы

Анализируя механическую часть привода производится замена механизма на эквивалентную приведенную, которая состоит из сосредоточения упруго связанных инерционных элементов. Это происходит в следствии того что кинематическая схема электропривода представляет из себя сложную систему, которая состоит из редуктора, якоря, соединительной муфты и т.д., которые связаны между собой упругими элементами.

При подаче вращающегося момента элементы цепи подвергаются деформации. Какая-то часть деформации мала и ими можно пренебречь, а другая часть приводится к эквивалентным.

Кинематическая схема перемещения индуктора можно представить в виде двух движущихся масс, если мы не будем брать в учет массы муфты:

- масса якоря двигателя, вращающийся с угловой скоростью ω_1 ;
- масса винта с гайкой, вращающийся с угловой скоростью ω_2 .

В результате приведения моментов сопротивления, моментов инерции, жесткостей к выбранной скорости, будет получена расчетная схема двухмассовой кинематической цепи привода индуктора.

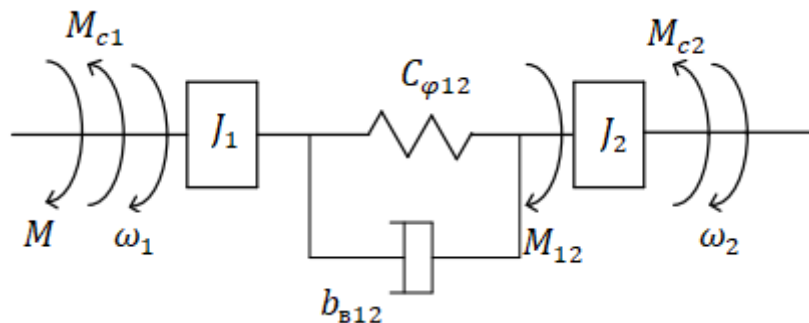


Рисунок 3- Двухмассовая механическая система

J_1 - момент инерции первой массы;

J_2 - момент инерции второй массы;

$C_{\varphi 12}$ - эквивалентная угловая жесткость механизма, приведенная к угловой скорости вала двигателя;

b_{B12} - коэффициент внутреннего вязкого трения;

ω_1 - угловая скорость первой массы;

ω_2 - угловая скорость второй массы;

M - движущийся момент;

M_{12} - упругий момент;

M_{c1} - момент сопротивления типа сухого трения на валу первой массы;

M_{c2} - момент сопротивления типа сухого трения на валу второй массы;

Представленная двухмассовая механическая система имеет три входа и два выхода:

- крутящий момент M на валу первой массы;
- возмущающий момент сопротивления на валу первой и второй массы соответственно M_{c1} , M_{c2} ;
- ω_1 – скорость вращения первой массы;
- ω_2 – скорость вращения второй массы.

Приведение производится к валу двигателя так как элементы механической системы обусловлены вращательным движением. Такая расчетная схема называется приведенной схемой вращательной системы. В этой системе нагрузки характеризуются крутящим моментом M , момент инерции J , коэффициент угловой жесткости $C_{\varphi 12}$.

Приведенный момент инерции первой массы:

$$J_1^1 = J_{дв} + J_7 + J_5 + \frac{J_{11}}{i_1^2} + \frac{J_9}{i_1^2} + \frac{J_{10}}{i_1^2} + \frac{J_{13}}{i_2^2} + \frac{J_{14}}{i_2^2} + \frac{J_{16}}{i_2^2} + \frac{J_{20}}{i_3^2} + \frac{J_{22}}{i_3^2}$$

где $J_7, J_{11}, J_{16}, J_{22}$ - моменты инерции валов редуктора в соответствии с кинематической схемой;

$J_5, J_9, J_{10}, J_{13}, J_{14}, J_{20}$ - моменты инерции шестерен редуктора в соответствии с кинематической схемой;

i_1, i_2, i_3 - передаточные числа редуктора на ступенях соответственно.

Момент инерции для валов:

$$J_v = m \frac{D^2}{8}$$

где m - масса изделия;

D - диаметр изделия.

$$J_7 = 5,4 \frac{0,04^2}{8} = 0,001 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{11} = 6,95 \frac{0,045^2}{8} = 0,0018 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{16} = 8,58 \frac{0,05^2}{8} = 0,0027 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{22} = 12,35 \frac{0,06^2}{8} = 0,0056 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент инерции для шестерен:

$$J_{ш} = m \frac{R^2 + r^2}{2}$$

$$J_5 = 1,2 \frac{0,03^2 + 0,02^2}{2} = 0,00078 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_9 = 3,1 \frac{0,075^2 + 0,025^2}{2} = 0,00969 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{10} = 5,3 \frac{0,09^2 + 0,03^2}{2} = 0,02385 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{13} = 0,6 \frac{0,036^2 + 0,02^2}{2} = 0,0005 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{14} = 0,7 \frac{0,036^2 + 0,0225^2}{2} = 0,00063 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{20} = 2,7 \frac{0,096^2 + 0,0325^2}{2} = 0,01387 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J'_1 = 0,083 + 0,001 + 0,00078 + \frac{0,0018}{2,5^2} + \frac{0,00969}{2,5^2} + \frac{0,02385}{2,5^2} + \frac{0,0005}{6,25^2} + \frac{0,00063}{6,25^2} + \frac{0,0027}{6,25^2} + \frac{0,01387}{16,6875^2} + \frac{0,0056}{16,6875^2} = 0,0875 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Приведенный момент инерции второй массы:

$$J'_2 = \frac{J_{\text{винт}}}{i_{\text{ред}}^2} + \frac{m p^2}{i_{\text{ред}}^2}$$

где $J_{\text{винт}}$ - момент инерции винта;

p - радиус приведения узла винт- гайка.

$$J_{\text{винт}} = m \frac{D^2}{8} = 170,5 \frac{0,07^2}{8} = 0,1044 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$p = \frac{P}{2\pi} = \frac{0,01}{6,28} = 0,001591 \text{ м/рад}$$

$$J'_2 = \frac{0,1044}{16,6875^2} + \frac{3000 \cdot 0,001591^2}{16,6875^2} = 0,0004022 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

В следствии того то на кинематические звенья привода подаются вращающиеся моменты они подвергаются упругим деформациям, значит применим закон Гука.

При кручении стержня вращающим моментом, приложенным в плоскости, перпендикулярной оси стержня, угловую жесткость вала в соответствии с законом Гука определяется выражением:

$$C_\varphi = \frac{GJ_p}{0,9l}$$

где $G = 8,1 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ - модуль сдвига для стали;

$l = 5,68 \text{ м}$ - длина стержня;

J_p - полярный момент инерции сечения вала.

$$J_p = \frac{\pi D^4}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,07^4}{32} = 2,357 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$C_\varphi = \frac{8,1 \cdot 10^{10} \cdot 2,357 \cdot 10^{-6}}{0,9 \cdot 5,68} = 37347 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$$

Угловая жесткость винта, приведенная к валу двигателя:

$$C'_\varphi = \frac{C_\varphi}{i_{\text{ред}}^2} = \frac{37347}{16,6875^2} = 135 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$$

Осевая податливость винта, закрепленного с двух концов максимальна при среднем положении гайки:

$$\delta_l = \frac{0,5l}{SE} = \frac{0,5 \cdot 5,68}{0,00385 \cdot 2 \cdot 10^{11}} = 3,32 \cdot 10^{-9} \text{ м/Н}$$

где S - площадь поперечного сечения стержня;

$E = 2 \cdot 10^{11}$ - модуль продольной упругости для стали.

Она же приведенная к угловому перемещению:

$$\delta_\varphi = \frac{\delta_l}{p^2} = \frac{3,32 \cdot 10^{-9}}{0,001591^2} = 0,001184 \frac{\text{рад}}{\text{Н} \cdot \text{м}}$$

Угловая жесткость винта:

$$C_{\varphi\text{в}} = \frac{1}{\delta_{\varphi}} = \frac{1}{0,001184} = 845 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$$

Она же приведенная к валу двигателя:

$$C'_{\varphi\text{в}} = \frac{C_{\varphi\text{в}}}{i_{\text{ред}}^2} = \frac{845}{16,6875^2} = 3,038 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$$

Результирующая жесткость, приведенная к валу двигателя:

$$C_{\varphi 12} = \frac{1}{\frac{1}{C'_{\varphi}} + \frac{1}{C'_{\varphi\text{в}}}} = \frac{1}{\frac{1}{135} + \frac{1}{3,038}} = 2,98 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$$

Коэффициент внутреннего вязкого трения:

$$b_{\text{в}12} = \frac{0,2 \cdot C_{\varphi 12}}{\pi \omega_{12}} = \frac{0,2 \cdot 2,98}{3,14 \cdot 86,27} = 0,0022$$

$$\omega_{12} = \sqrt{\frac{J'_1 + J'_2}{J'_1 J'_2} C_{\varphi 12}} = \sqrt{\frac{0,0875 + 0,0004022}{0,0875 \cdot 0,0004022} \cdot 2,98} = 86,27 \text{ рад/с}$$

Крутящий момент примем равным номинальному моменту двигателя:

$$M = \frac{P_{\text{двн}}}{\omega_{\text{двн}}} = \frac{7100}{314,16} = 22,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления типа сухого трения на валу первой массы:

$$M_{c1} = (cI_{\text{н}} - M) + \frac{1 - \eta_{\text{ред}}}{2\eta_{\text{ред}}} M$$

где $I_{\text{двн}}$ - номинальный ток двигателя;

c - коэффициент ЭДС вращения двигателя.

$$I_{\text{двн}} = \frac{P_{\text{двн}}}{\eta_{\text{двн}} U_{\text{двн}}} = \frac{7100}{0,855 \cdot 220} = 37,75 \text{ А}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{U_{\text{двн}} - I_{\text{двн}} R_{\text{двгор}}}{\omega_{\text{двн}}} = \frac{U_{\text{двн}} - 1,24 I_{\text{двн}} (R_{\text{я}(+15)} + R_{\text{дп}(+15)})}{\omega_{\text{двн}}} \\ &= \frac{220 - 37,75 \cdot 0,16988}{314,16} = 0,6799 \text{ В} \cdot \text{с/рад} \end{aligned}$$

$$M_{c1} = (0,6799 \cdot 37,75 - 22,6) + \frac{1 - 0,8}{2 \cdot 0,8} 22,6 = 5,891 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления типа сухого трения на валу второй массы:

$$M_{c2} = \frac{1 - \eta_{ред}}{2\eta_{ред}} M = \frac{1 - 0,875}{2 \cdot 0,875} 22,6 = 1,62 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Эквивалентный момент инерции:

$$J_{\Sigma} = J'_1 + J'_2 = 0,0875 + 0,0004022 = 0,0879022 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Эквивалентный момент сопротивления типа сухого трения:

$$M_c = M_{c1} + M_{c2} = 5,891 + 1,62 = 7,511 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Структурная схема одномассовой механической системы приведена на рисунке 2.

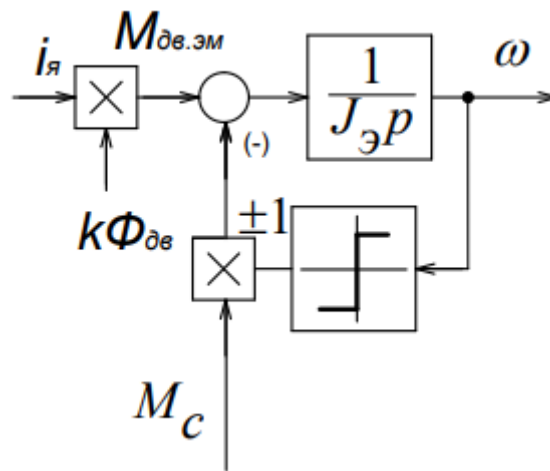


Рисунок 4- Структурная схема одномассовой механической системы

1.5.3 Функциональная схема электропривода и ее основные элементы

Электропривод представляет собой электромеханическое устройство, служащее для регулирования и стабилизации скорости вращения ДПТ в диапазоне 1:1000.

Для электропривода применена структура с ПИ-регулятором скорости, адаптивным устройством для линеаризации характеристик электропривода и обратной связи по току на вход управляющего органа СИФУ.

Функциональная схема приведена на рисунке 3 где:

ТП- реверсивный тиристорный преобразователь;

СИФУ- система импульсного- фазового управления;

L- сглаживающий реактор;

M- ДПТ со встроенным тахогенератором Вг;

РС- регулятор скорости;

УЗТ- узел зависимого токоограничения;

НЗ- нелинейное звено;

ФПЕ- функциональный преобразователь ЭДС двигателя;

ПХ- переключатель характеристик;

ЛУ- логическое устройство;

УО- управляющий орган;

БЗ- блок защиты;

ДТ- датчик тока;

ДПВ- датчик проводимостей клапанов.

ТП- состоит из согласующего силового трансформатора и двух управляемых выпрямительных мостов, выполненных по трёхфазной мостовой схеме, включенных встречно - параллельно и работающих по принципу раздельного управления.

СИФУ- общая для двух групп клапанов реверсивного преобразователя, выполнена по вертикальному принципу управления и состоит из трёх одинаковых каналов, каждый из которых поочередно, в зависимости от полуволны питающего напряжения, формирует управляющие импульсы на тиристоры анодной и катодной группы соответствующей фазы.

Л- предназначен для уменьшения зоны прерывистых токов, а также для ограничения пиков тока в якорной цепи электродвигателя.

РС- выполнен на операционных усилителях DA1, DA2; регулятор скорости сделан двухканальным. Первый канал – усилитель DA1 обеспечивает усиление сигнала и быстродействие, второй усилитель DA2 осуществляет компенсацию температурной и временной неустойчивости регулятора.

НЗ- предназначено для работы в режиме прерывистых токов и имеет характеристику, обратную регулировочной характеристике управляемого выпрямителя.

УЗТ- ограничивает ток якоря на заданном уровне.

ЛУ- формирует сигнал управления вперед или назад, чтобы полностью исключить одновременную работу комплектов.

ДПВ- контролирует проводящее состояние тиристоров.

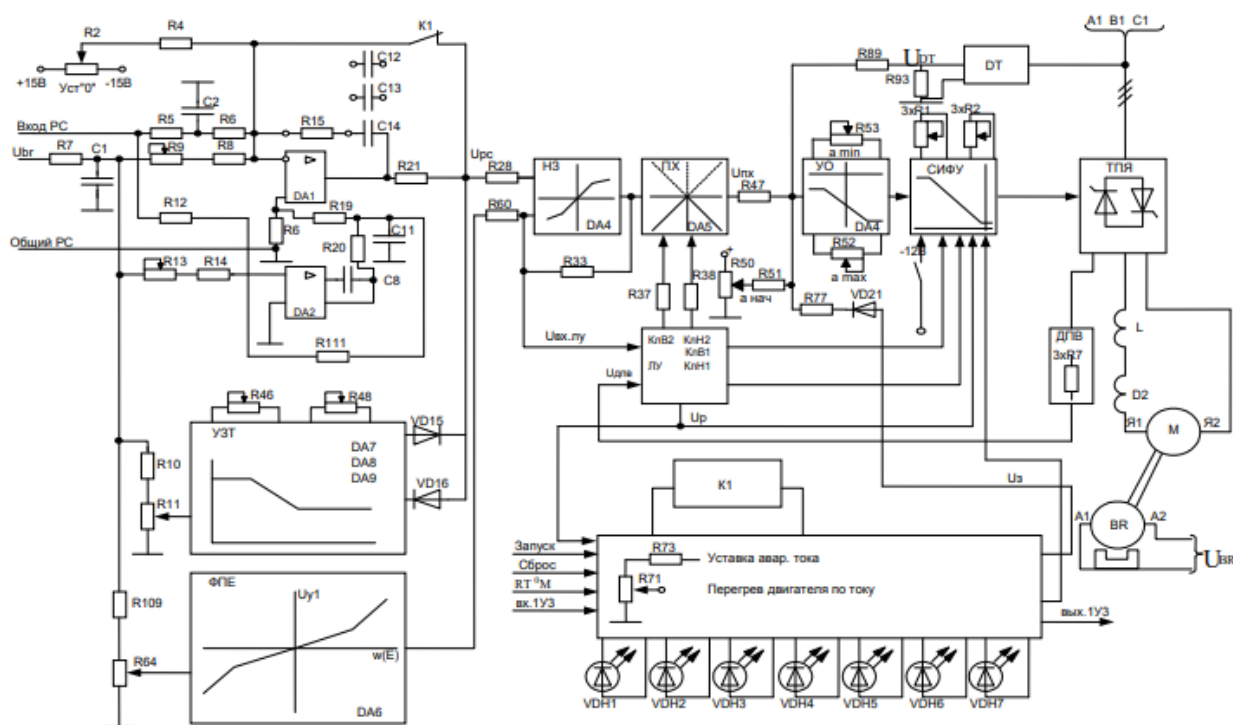


Рисунок 5- Функциональная схема

1.5.4 Выбор трансформатора

Для питания ТП систем ЭП постоянного тока с трехфазной мостовой схемой выпрямления используют трехфазные преобразовательные трансформаторы.

Для выбора подходящего трансформатора, производится расчет значения тока и напряжения вторичной обмотки, и номинальной мощности трансформатора. Расчет ведется для предполагаемого соединения вентильной обмотки Y. В этом случае $I_{2\Phi} = I_{2Л}, U_{2\Phi} = \frac{U_{2Л}}{\sqrt{3}}$.

1.5.5 Выбор сглаживающего реактора

Для ограничения переменных составляющих в якорную цепь подключают сглаживающий дроссель. Это приводит к улучшению использования двигателя, но увеличивает габариты и стоимость привода.

Индуктивность сглаживаемого дросселя в регулируемом электроприводе выбирается из условия уменьшения зоны прерывистых токов

при раздельном управлении преобразователя до уровня минимального значения тока нагрузки (или тока холостого хода двигателя) и ограничения пульсаций тока двигателя до допустимых значений.

Определение необходимой величины индуктивности сглаживающего дросселя из условия ограничения зоны прерывистых токов.

Наибольшая ширина зоны прерывистых токов при раздельном управлении имеет место при угле $\alpha = 90^\circ$, тогда минимальное значение индуктивности цепи выпрямленного тока (тока нагрузки) для получения граничного – непрерывного режима определяется выражением:

$$L_{\text{кн1}} = \frac{1}{\omega c} k_{\text{трмакс}} \frac{E_{d0}}{I_{\text{дгр}}}$$

где $I_{\text{дгр}}$ - значение начального непрерывного тока;

E_{d0} - максимальная выпрямленная ЭДС преобразователя.

Для того, чтобы узнать необходимый показатель индуктивности дросселя по условию ограничений пульсаций выпрямленного тока.

Пульсации выпрямленного напряжения корректируют пульсации тока, что ухудшает нагрев. Кривая выпрямленного напряжения состоит из двух составляющих- постоянной и переменной, равные среднему значению выпрямленного напряжения и состоящую из спектра гармоник соответственно. Требуемое значение индуктивности токовой цепи, ограниченное с учетом влияния первой гармоники, определяется по формуле:

$$L_{\text{кн2}} = \frac{100 E_{d1\text{макс}}}{m_b \omega_2 P(\%) I_{\text{двн}}}$$

где $P(\%) = 15\%$.

1.5.6 Расчет параметров силовой цепи

Расчетное сопротивление силовой цепи:

$$R_{\text{яц}} = R_{\text{дгор}} + R_{\text{тп}} + R_{\text{к}}$$

Расчетное значение индуктивности силовой цепи:

$$L_{\text{яц}} = L_{\text{дв}} + L_{\text{тп}}$$

Электромагнитная постоянная силовой цепи:

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{6,51 \cdot 10^{-3}}{0,4774} = 0,0136 \text{ с}$$

1.5.7 Проверка области существования электромеханических характеристик электропривода

У замкнутой системы электропривода электромеханические характеристики должны быть целиком расположены в зоне области существования характеристик разомкнутой системы преобразователь – двигатель. Характеристика разомкнутой системы преобразователь - двигатель лимитирована характеристиками тиристоров в режиме предельного инвертирования и в выпрямительном режиме минимальном углом управления. Для реализации данного условия необходимо что бы у преобразователя и силового трансформатора были большие запасы напряжения и мощности.

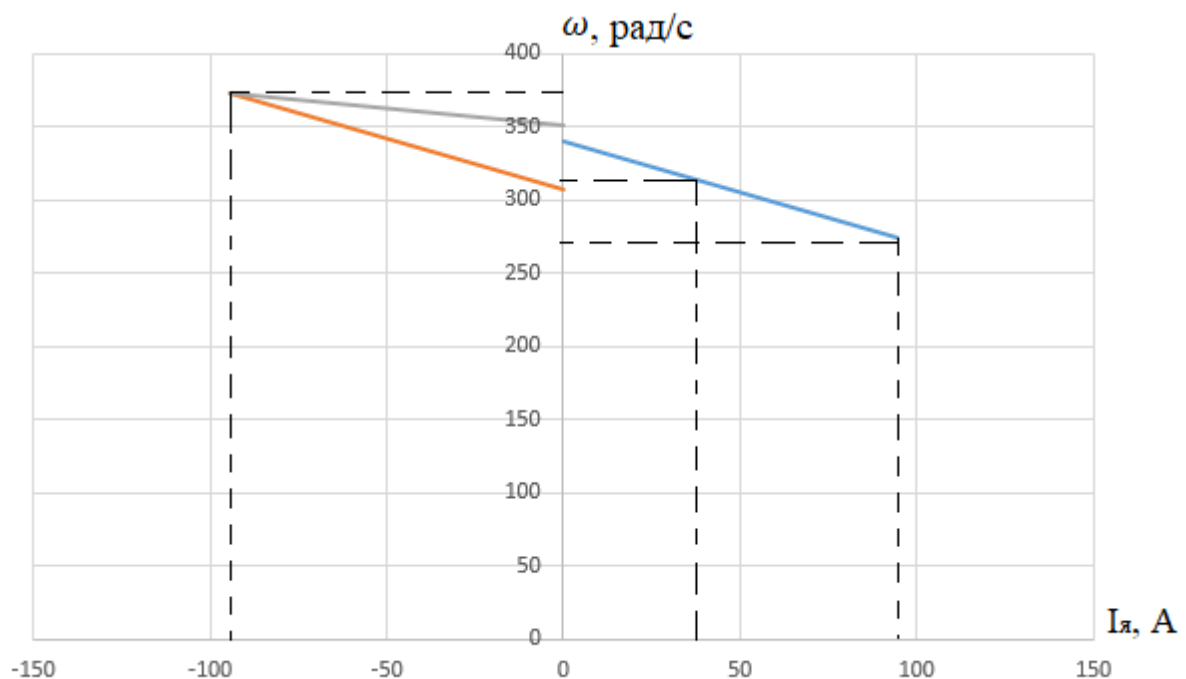


Рисунок 6- Область существования электромеханических характеристик электропривода

Скорость двигателя в установившемся режиме определяется величиной среднего значения выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя и падением напряжения в цепи, образованной вторичной обмоткой трансформатора, тиристором, обмоткой якоря и дросселями.

В области малых нагрузок электромеханические характеристики существенно нелинейные с изменяющейся жёсткостью. С уменьшением нагрузки имеет место резкий подъём скорости из-за явлений, связанных с прерывистым характером тока якоря. В режиме прерывистого тока в преобразователе тиристор прекращает проводить ток до момента отпирания тиристора следующей фазы. Скорость двигателя в установившемся режиме определяется величиной среднего значения выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя и падением напряжения в цепи, образованной тиристором, обмоткой якоря и дросселями.

Скорость вращения вала электродвигателя:

$$\omega = \frac{E_d - I_d R_{яц} - \Delta U_B}{c}$$

$$E_d = E_{d0} \cos \alpha$$

где E_d - среднее значение выпрямленной ЭДС в режиме непрерывного тока;

α - угол включения тиристора, отсчитываемый от точки естественной коммутации;

ΔU_B - прямое падение напряжение на тиристор.

Для получения соответствующей скорости вращения вала двигателя произведем ряд преобразований и получим выражение для нахождения угла управления в функции скорости:

$$\omega = \frac{E_{d0} \cos \alpha - I_d R_{яц} - \Delta U_B}{c}$$

Тогда:

$$\alpha(\omega) = \arccos \frac{\omega c + I_d R_{яц} + \Delta U_B}{E_{d0}}$$

Для построение электромеханических характеристик в зоне непрерывного тока воспользуемся выражением.

$$\omega = \frac{E_{d0} \cos \alpha(\omega) - I_d R_{яц} - \Delta U_B}{c}$$

Характеристики линейные, но в реальности есть зона прерывистых токов при малых нагрузках, данная зона прямо пропорциональна углу

открытия тиристоров т.е. чем больше угол открытия, тем больше зона прерывистых токов. Граничный ток — это граница между непрерывным и прерывистым током, который зависит от угла открытия и параметров схемы.

Проведем расчеты для построения характеристик в зоне прерывистых токов.

$$\theta_0(\alpha) = \frac{180}{\pi} \left(\alpha(\omega) + \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m_B} \right) \right)$$

Для получения семейства электромеханических характеристик в зоне прерывистых токов необходимо задавать угол открытия тиристоров $0 \div 180$ и угол проводимости $0 \div 60$. Электромеханические характеристики системы УВ-Д построены в программе MathCad и представлены на рис. 5:

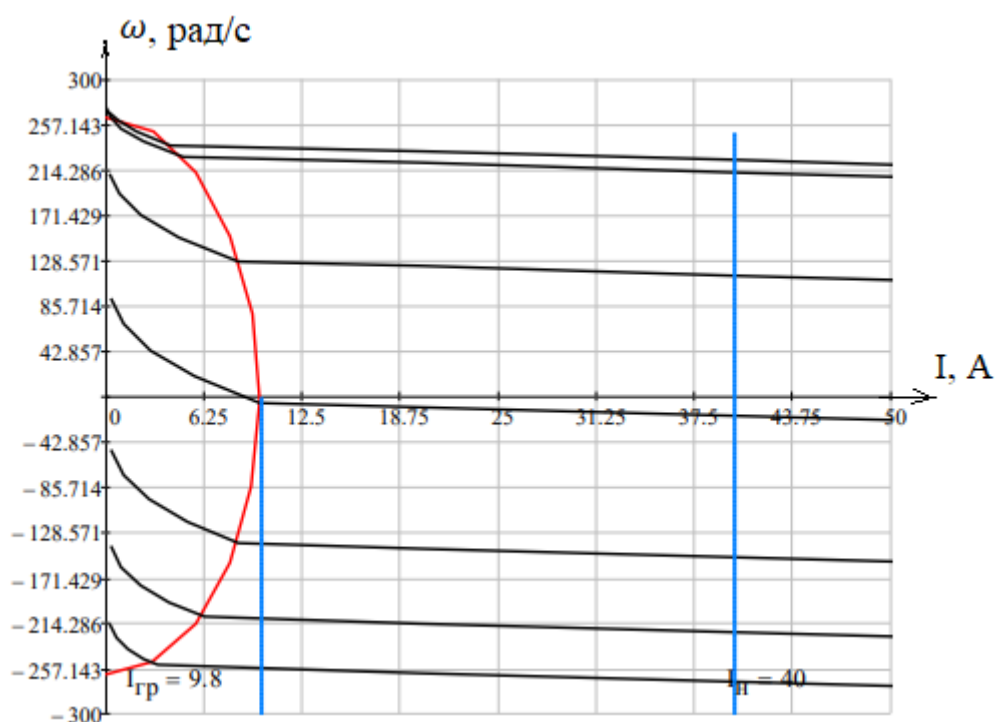


Рисунок 7- Электромеханические характеристики системы УВ-Д с отдельным управлением

1.5.8 Расчет параметров преобразователя

В практике применения тиристорных преобразователей для электроприводов постоянного тока имеет место большое разнообразие систем управления как по принципу работы, так и по схемной реализации. Для реверсивных электроприводов дополнительно задаётся закон управления

группами вентиляй. В нашем случае имеем СИФУ с линейным опорным напряжением, раздельным управлением вентиляльными группами и, соответственно, для него будем производить расчёт:

Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя $E_d(\alpha)$ в режиме непрерывного тока определяется выражением:

$$E_d = E_{d0} \cos \alpha$$

Задаваясь значениями угла управления тиристоров рассчитываем значения ЭДС. Данные расчетов приведены в таблице 5.

Таблица 9- Данные расчетов регулировочная характеристика управляемого выпрямителя в режиме непрерывного тока

α	15	30	45	60	90	120	150	152
E_d	271,4	243,4	198,7	140,5	0	-140,5	-243,4	-248,1

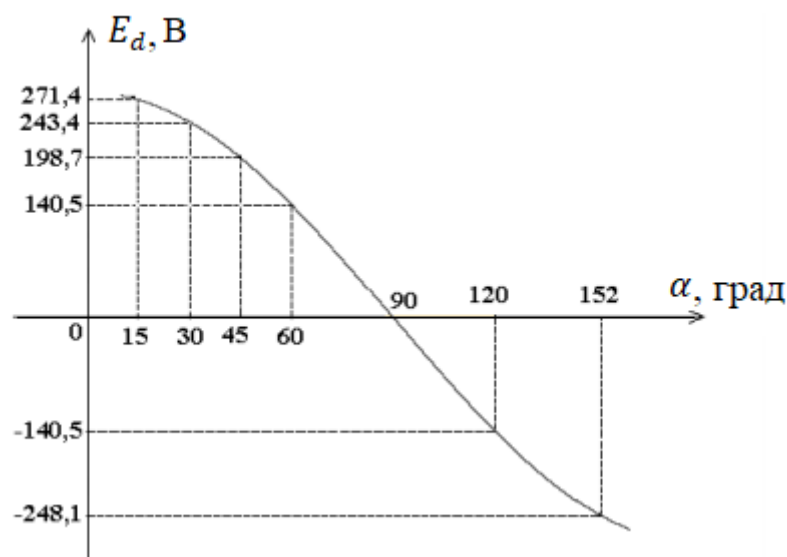


Рисунок 8- Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя $E_d(\alpha)$ в режиме непрерывного тока

Регулировочная характеристика тиристорного преобразователя $E_{тп}(U_{уп})$ в режиме непрерывного тока определяется выражением:

$$E_{тп} = E_{d0} \cos \left(\alpha_{нач} - \frac{\pi k_{yo} U_{уп}}{2 U_{опмакс}} \right)$$

где $\alpha_{нач} = 120^\circ$ - начальный угол управления;

k_{yo} - коэффициент управляющего органа;

$U_{уп}$ - управляющее напряжение;

$U_{\text{опмакс}} = 5 \text{ В}$ - максимальное опорное напряжение.

$$k_{yo} = \frac{\alpha_{\text{нач}} - \alpha_{\text{мин}}}{\pi} \cdot \frac{2U_{\text{опмакс}}}{U_{\text{упмакс}}} = \frac{120 - 10}{180} \cdot \frac{10}{0,611} = 1$$

где $U_{\text{упмакс}} = 0,611 \text{ В}$ - максимальное значение напряжения управления преобразователем.

Задавая значениями управляющего напряжения рассчитываем значения ЭДС тиристорного преобразователя. Данные расчетов приведены в таблице 6.

Таблица 10- Данные расчетов значений ЭДС тиристорного преобразователя.

$U_{\text{уп}}$	-	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6,11
	6,11												
$E_{\text{ТП}}$	-281	-	-	-	-	-	-140,5	-58	29	114	188	243	277
		281	281	279	257	209							

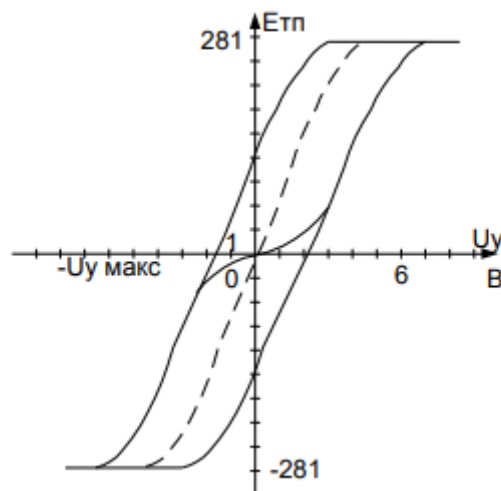


Рисунок 9- Регулировочная характеристика ТП $E_{\text{ТП}}(U_{\text{уп}})$

Коэффициент усиления тиристорного преобразователя в режиме непрерывного тока может быть определен по выражению:

$$k_{\text{ТП}} = k_{\text{ТПмакс}} \cos \left(\frac{\pi k_{yo} U_{\text{уп}}}{2U_{\text{опмакс}}} - \sin \left(\alpha - \frac{\pi}{2} \right) \right)$$

где $k_{\text{ТПмакс}}$ - максимальный коэффициент усиления тиристорного преобразователя в режиме непрерывного тока.

$$k_{\text{ТПмакс}} = \frac{\pi k_{yo} E_{d0}}{2U_{\text{опмакс}}} = \frac{\pi \cdot 281}{10} = 88,278$$

Постоянная времени тиристорного преобразователя:

$$T_{\text{тп}} = \frac{0,5}{m_B f_c} = \frac{0,5}{6 \cdot 50} = 0,00167 \text{ с}$$

1.5.9 Структурная схема и параметры силового канала

В настоящее время широкое практическое применение получил регулируемый электропривод постоянного тока с тиристорным преобразователем, выполненный, по многоконтурной структурной схеме с последовательной коррекцией. Привод ЭПУ1 выполнен по структуре 2А. Он представляет собой двухконтурную структуру с ПИ – РС и дополнительной жесткой положительной обратной связью по току на вход ТП. С помощью дополнительной жесткой положительной обратной связи по скорости на вход ТП компенсируется влияние отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя.

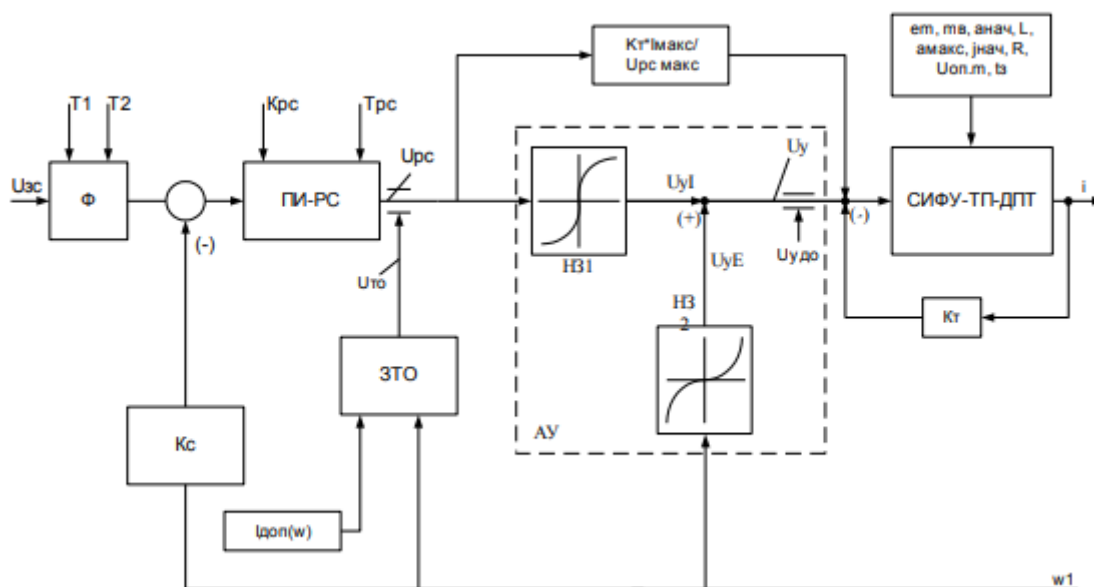


Рисунок 10- Структурная схема электропривода

Надежность и технико- экономические показатели тиристорных электроприводов в значительной степени зависят от применяемых силовых схем. Сложность силовых схем зависит от мощности преобразователя – чем больше мощности тем сложнее силовая техника. Основной схемой выпрямления тиристорных преобразователей для электроприводов является трехфазная мостовая.

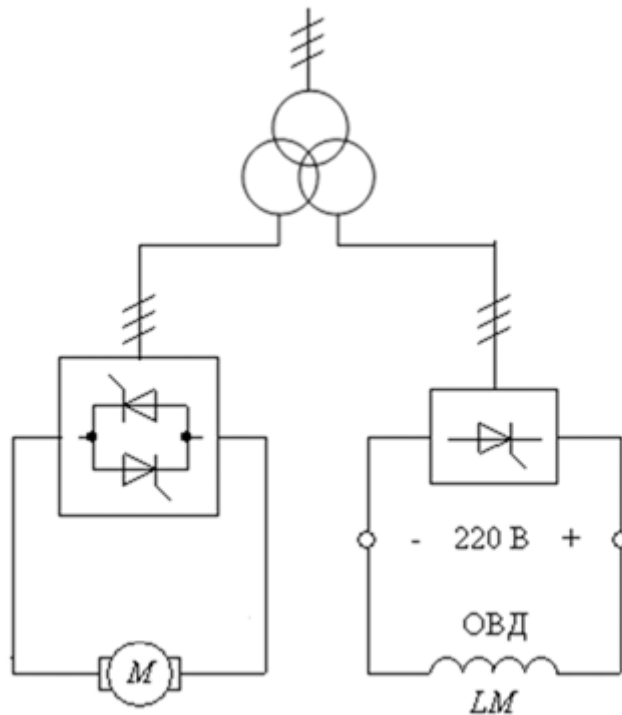


Рисунок 11- Упрощенная силовая схема

Современные тиристорные преобразователи имеют развитую систему защиты:

- для уменьшения перенапряжений, обусловленной коммутацией вентилей, применяют RC – цепочки, шунтирующие тиристоры;
- защита от внутренних коротких замыканий осуществляется быстродействующим автоматическим выключателем на стороне переменного тока;
- защита от внешних коротких замыканий на входе выпрямителя осуществляется быстродействующим автоматическим выключателем на стороне переменного тока.

Структурная схема силового канала электропривода представлена на рисунке 12.

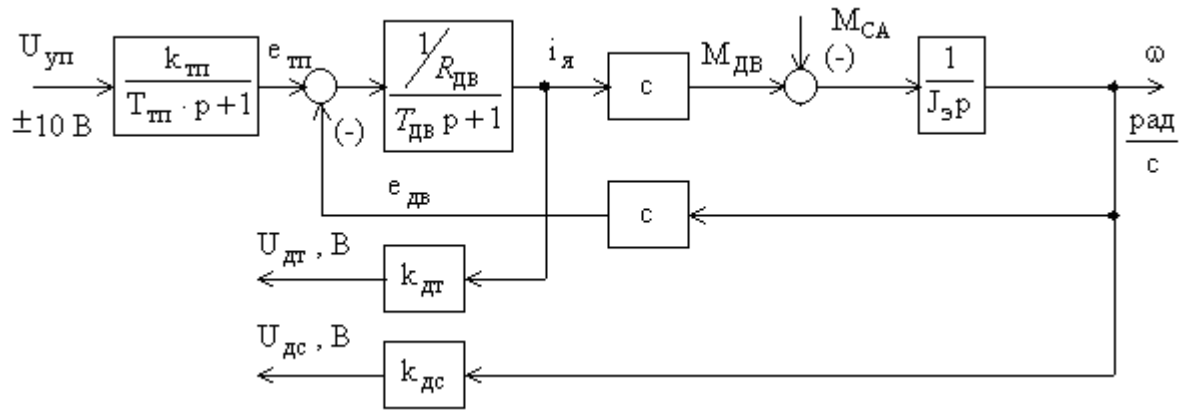


Рисунок 12- Структурная схема силового канала электропривода

2 Синтез и анализ линеаризованной системы автоматического управления регулируемого электропривода

2.1 Структурная схема линеаризованной САУ РЭП

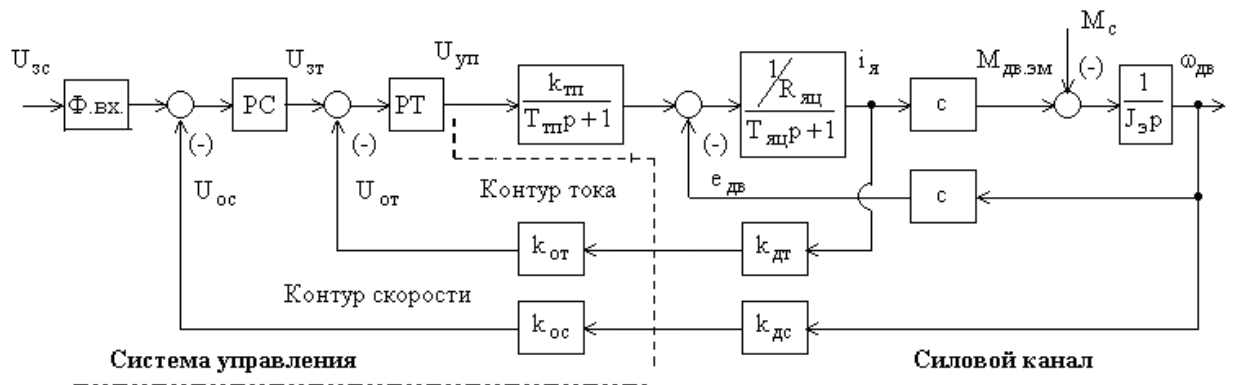


Рисунок 14- Структурная схема линеаризованной САУ РЭП

На схеме обозначено:

Φ.вх- входной фильтр;

РС- регулятор скорости;

РТ- регулятор тока;

$k_{тп}$ - коэффициент усиления тиристорного преобразователя;

$k_{от}$ - коэффициент обратной связи по току;

$k_{ос}$ - коэффициент обратной связи по скорости;

$k_{дт}$ - коэффициент датчика тока;

$k_{дс}$ - коэффициент датчика скорости.

2.2 Оптимизация контура тока

Оптимизируем внутренний контур тока на модульный оптимум (МО) при заторможенном двигателе ($\omega = 0$). При этом внутренняя обратная связь по ЭДС не влияет на процессы в контуре тока.

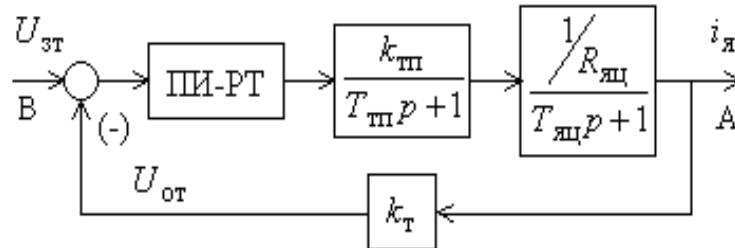


Рисунок 15- Структурная схема контура тока

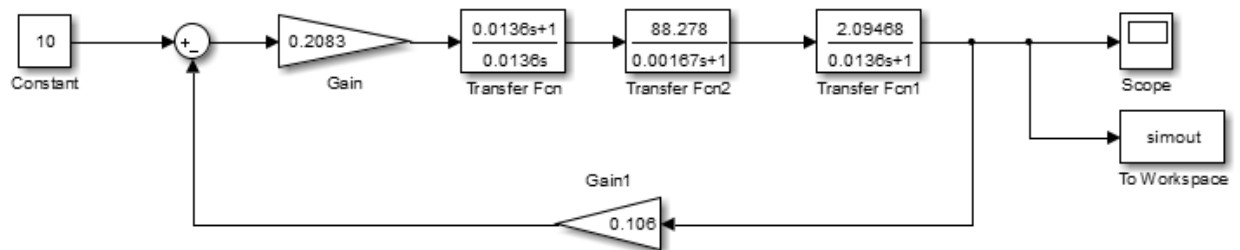


Рисунок 16- Имитационная модель контура тока в программной среде MATLAB Simulink

Оптимизация контура скорости

Структурная схема контура скорости при оптимизации его на СО представлена на рисунке 19.

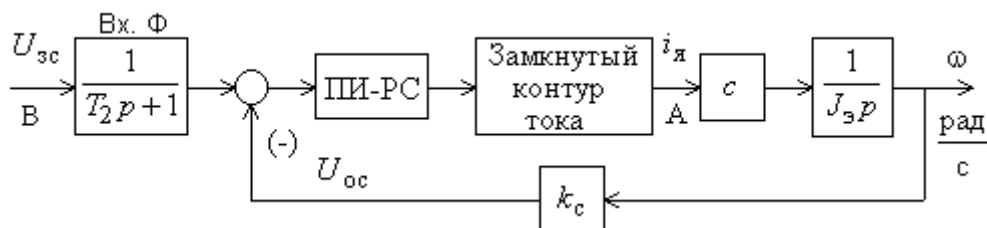


Рисунок 19- Структурная схема контура скорости при оптимизации его на СО+Ф

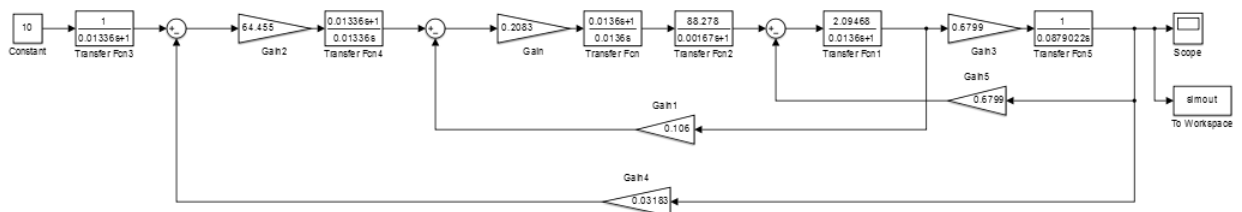


Рисунок 20- Имитационная модель контура скорости, настроенного на СО, с фильтром на входе

2.3 Анализ нелинейной САУ РЭП

Получение достоверных качественных и особенно количественных характеристик поведения реальной системы автоматизированного электропривода конкретного производственного механизма требует максимального учёта особенностей работы, как в целом ЭП, так и его отдельных элементов.

Основными нелинейностями САУ РЭП являются:

- насыщение регуляторов;
- характеристика постоянного токоограничения, реализованного путем ограничения выходного напряжения регулятора скорости.

2.4 Структурная схема нелинейной САУ РЭП

Основными нелинейностями САУ электропривода, влияющими на работу системы при отработке средних и больших входных заданий являются:

- насыщение регуляторов;
- ограничение углов управления тиристорного преобразователя, которое в первом приближении может быть учтено как насыщение;
- реактивный характер нагрузки;
- ограничение тока электропривода на уровне допустимого значения.

На рисунке 23 приведена структурная схема нелинейной САУ электропривода.

Напряжение насыщения регуляторов принимаем на уровне 10 В.

Ограничение тока электропривода осуществляется ограничением выходного напряжения регулятора РЭ на уровне.

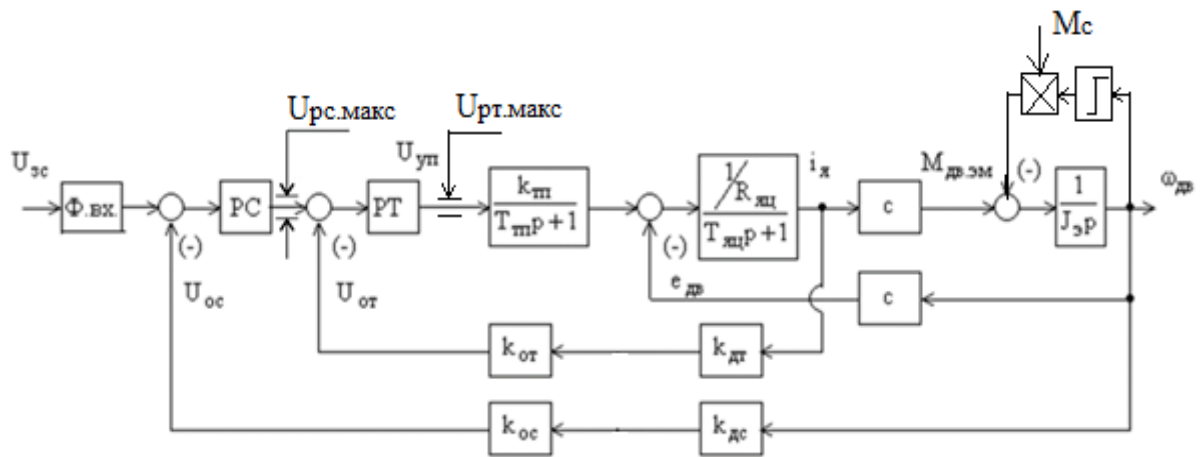


Рисунок 23- Структурная схема нелинейной САУ РЭП

Имитационная модель нелинейной САУ РЭП в программной среде MATLAB Simulink представлена на рисунке 24.

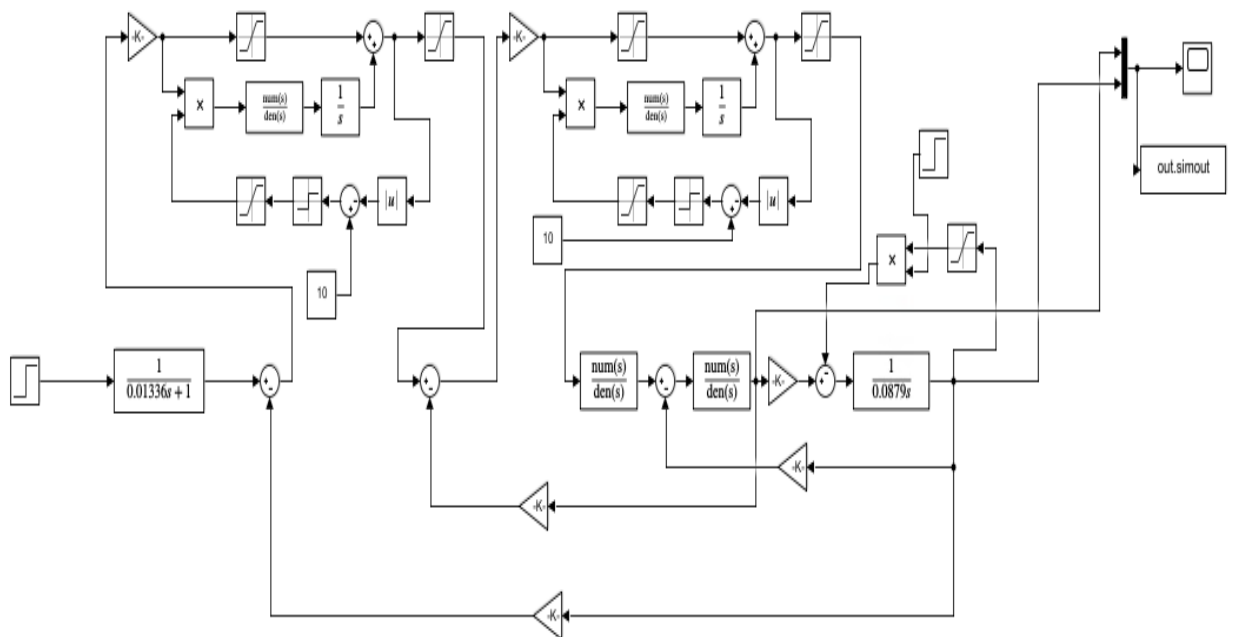


Рисунок 24- Схема имитационной модели нелинейной САУ РЭП

Цель исследований – проверка работоспособности электропривода во всех основных технологических режимах работы.

- пуск двигателя при разных значениях сигнала управления;
- пуск двигателя на максимальную скорость и реверс;
- торможение.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г6А1	Мукашев Алибек Мухтарович

Школа	Инженерная школа энергетики (ИШЭ)	Отделение (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов проводимого исследования: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей в соответствии со штатным расписанием производства.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- районный коэффициент – 1,3; - накладные расходы – 16%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общая система налогообложения. Отчисления во внебюджетные фонды – 30,2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта	Анализ конкурентных технических решений. Проведение SWOT-анализа
2. Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет	Формирование плана и графика проекта: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат проекта.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Расчет показателей сравнительной эффективности проекта, интегрального показателя ресурсоэффективности

Перечень графического материала:

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Ганта
3. Бюджет проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г6А1	Мукашев Алибек Мухтарович		

ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является подтверждение целесообразности разработки технического проекта, отвечающего всем нынешним требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Поставленная цель достигается выполнением следующих задач:

- Составление SWOT-анализа работы перемещения индуктора закалочного станка в АГМК;
- Планирование технико-конструкторских работ;
- Определение ресурсной эффективности проекта.

SWOT- анализ работы «Электропривода перемещения индуктора закалочного станка»

SWOT- представляет собой комплексный анализ проекта. SWOT анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, которые помогают оценить возможности, угрозы сильных и слабых сторон.

Для того что бы найти сильные и слабые стороны проведем SWOT– анализ. Он проводится в несколько этапов.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл– слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Таблица 13- Составление предварительной матрицы SWOT

	Сильные стороны проекта	Слабые стороны проекта
	С1: Низкая цена элементов схемы	Сл1. Надежность электропривода Сл2. Доступность токоведущих частей Сл3: Низкая безопасность

	C2: Высокая надёжность электропривода потребителей C3: Высокая эргономичность C4: Низкая материалоемкость C5: Высокая ремонтпригодность	Сл4: Низкая энергоэффективность
Возможности В1: Прокладка кабелей в эстакадах В2: Снижение расходов на используемое оборудование В3: Повышение стоимости конкурентных разработок В4: Растущая Заинтересованно	В1С1; C3; C5; В2С1; В3С1; В4С1.	В1Сл1; Сл2; Сл3; В4Сл3; Сл4.
Угрозы У1: Значительное увеличение стоимости схемы У2: Повышение цен на компоненты системы У3: Усовершенствования конкурентных технических решений У4: Снижение спроса	У1С1; У2С1; C4.	 У3Сл3; Сл4; У4Сл2; Сл3; Сл4.

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для

подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие)

Таблица 14- Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	+	-	+	-	+
B2	+	-	-	-	-
B3	+	-	-	-	-
B4	+	-	-	-	-
Возможности	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	
B1	+	+	+	-	
B2	-	-	-	-	
B3	-	-	-	-	
B4	-	-	+	+	

Таблица 15- Интерактивная матрица возможностей

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
У1	+	-	-	-	-
У2	+	-	-	+	-
У3	-	-	-	-	-
У4	-	-	-	-	-
Угрозы	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	
У1	-	-	-	-	
У2	-	-	-	-	
У3	-	-	+	+	
У4	-	+	+	+	

В результате проведения SWOT – анализа были рассмотрены сильные и слабые стороны технического проекта:

- риск снижения спроса – одна из основных угроз проекта, которая коррелирует со всеми его слабыми сторонами;
- слабые стороны ликвидируемы за счет усовершенствования конструкции схемы;
- для минимизации угроз необходимо обратить внимание на недостатки данной конфигурации сети электропривода, а именно доступность токоведущих частей, низкая энергоэффективность и ремонтпригодность;
- кроме того, необходимо акцентировать внимание на сильные стороны проекта, такие как экономичность, надёжность и эргономика;
- прокладка кабелей в эстакадах – одно из наиболее весомых технических решений, относящихся к возможностям проекта, т.к. оно взаимосвязано с большинством сильных сторон;
- за счёт модификации схемы, а именно использования такого способа прокладки кабелей, как прокладка в эстакадах, можно скомпенсировать такие слабости, как доступность токоведущих частей и низкая безопасность.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что прокладка в эстакадах позволит получить наибольшую отдачу от данного проекта. Благодаря прогрессирующим разработкам в области электроэнергетики и электротехники, совершенствованию конструкций аппаратуры и энергоэффективности материалов негативные факторы могут быть минимизированы.

Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;

- построение графика проведения проектирования системы электропривода перемещения индуктора закалочного станка.

Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 4:

№ 1 – Ознакомление с производственной документацией– включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 – Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия – расчет электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм;

№ 4 – Построение картограммы нагрузок и определение ЦЭН– выбор конфигурации схемы электропривода, расчет суммарных электрических нагрузок;

№ 5 – Выбор трансформаторов подстанций –выбор защитной аппаратуры, подбор трансформаторов согласно картограммы нагрузок;

№ 6 – Расчет внутризаводской сети предприятия – построение схемы внутризаводского электроснабжения с расчетом и нанесением картограммы нагрузок по заводу, построение схемы внутрицехового электроснабжения.

№ 7 – Моделирование электропривода перемещения индуктора закалочного станка – создать модель электропривода ремонтномеханического цеха инструментального завода с использованием профильных САПР.

№ 8 – Оценка эффективности полученных результатов – проверка соответствия выполненного проекта исходным требованиям с учетом ресурсов энергоэффективности;

№ 9 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;

№ 10 – Проверка выпускной квалификационной работы руководителем в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником.

№11 – Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации, согласование с преподавателем для защиты перед аттестационной государственной комиссией.

Таблица 16- Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Ознакомление с производственной документацией	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования завода	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
Расчеты и проектирование системы электропривода перемещения индуктора закалочного станка	3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Дипломник, научный руководитель
	4	Построение картограммы нагрузок и определение ЦЭН	Дипломник, научный руководитель
	5	Выбор трансформаторов подстанций	Дипломник, научный руководитель
	6	Расчет внутризаводской сети предприятия	Дипломник, научный руководитель
	7	Моделирование электропривода перемещения индуктора закалочного	Дипломник

		станка	
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник, научный руководитель
Оформление отчета по техническому проектированию	9	Составление пояснительной записки	Дипломник
	10	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	11	Подготовка к защите ВКР	Дипломник, научный руководитель

В результате определения структуры работ в рамках технического проекта было выявлено шесть основных этапов (разработка технического задания, выбор направления технического проектирование завода, расчеты и проектирование системы, электропривода перемещения индуктора закалочного станка обобщение и оценка результатов, оформление отчета по техническому проектированию, сдача выпускной квалификационной работы) и 11 работ.

Определение трудоемкости ТП

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проектирования.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}$$

где $t_{ож\ i}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы раб.-дн.;

$t_{min i}$ - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), раб.-дн.;

$t_{max i}$ - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), раб.-дн.

Разработка графика проведения технического проекта

В рамках планирования технического проекта необходимо построить ленточный график проекта.

Диаграмма Ганта – представляет собой ленточную диаграмму, которая имеет две шкалы: шкала выполняемых задач и временная шкала. В соответствии со сроком, отведенным по проекту каждой задаче, он откладывается на временной шкале.

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 17 строим план-график проведения работа (таблица 18).

Продолжительность выполнения технического проекта заняла 12 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического в днях заняла 111 календарных и 102 рабочих дней. Из них:

100 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

10 дней – продолжительность выполнения работ научный руководителя.

Таблица 17- Расчёт продолжительность работ чел.-дн.

№	Название работы	Трудоемкость работ, чел-дни		
		Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы	Ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы

		Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	3	-	7	-	5
3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	1	19	1	23	1	21
4	Построение картограммы нагрузок и определения ЦЭН	1	17	1	25	1	20
5	Выбор трансформаторов подстанций	1	14	1	21	1	17
6	Расчёт внутризаводской сети предприятия	1	3	1	6	1	4
7	Моделирование системы электропривода перемещения индуктора закалочного станка	1	14	1	18	1	16
8	Оценка эффективности	1	6	1	8	1	7

	полученных результатов						
9	Составление пояснительной записки	-	3	-	12	-	7
10	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	1	-	1	-	1	-
11	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	1	2	3	4	2	3

Таблица 18- Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исполнители	Т _{рi} раб. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февраль		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Ознакомление с производственной документацией	Руководитель	1	—												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	5	—												
3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Руководитель	1			—										
		Дипломник	21		—	—										
4	Построение картограммы нагрузок и определения ЦЭН	Руководитель	1					—								
		Дипломник	20				—	—								
5	Выбор трансформаторов подстанций	Руководитель	1								—					
		Дипломник	17						—	—						
6	Расчёт внутризаводской сети предприятия	Руководитель	1									—				
		Дипломник	4								—					
7	Моделирование системы электропривода перемещения индуктора закалочного станка	Руководитель	1										—			
		Дипломник	16									—				
8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	1												—	
		Дипломник	7											—		
9	Составление пояснительной записки	Дипломник	7											—		
10	Проверка ВКР руководителем	Руководитель	1												—	
11	Сдача и защита ВКР	Руководитель	2												—	
		Дипломник	3												—	

Расчет затрат на осуществление технического проекта

Целью планирования себестоимости проведения технического проекта является экономически обоснованное определение величины затрат на его выполнение. Исходными данными для расчета затрат является план работ и перечень требуемой аппаратуры, оборудования, сырья и материалов.

Затраты на осуществление технического проекта рассчитываются по следующим статьям расходов с последующим суммированием:

- расходы на оплату труда;
- отчисления во внебюджетные страховые фонды;
- расходы на материалы и комплектующие изделия;
- расходы на спецоборудование;
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат технического проекта

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}$$

где m - количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении технического проекта;

$N_{расхi}$ - количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

C_i - цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

К материальным затратам можно отнести: бумага, ручка, корректор, USB-накопитель, блокнот, линейка, мультимедийная флешка.

Материальные затраты, необходимые для данной работы, указаны в таблице 7.

Таблица 19- Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	Лист	150	2,5	375

Ручка	Шт.	1	60	60
USB-накопитель	Шт.	1	335	335
Линейка	Шт.	1	85	85
Мульти фора	Шт.	10	2	20
Блокнот	Шт.	1	100	100
Корректор	Шт.	1	55	55
Итого				1030

Полная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается полная заработная плата научного руководителя и студента, которая рассчитывается по формуле:

$$З_{п} = З_{осн} + З_{доп}$$

где $З_{осн}$ - основная заработная плата;

$З_{доп}$ - дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Основная заработная плата руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = T_p \cdot З_{дн}$$

где $З_{осн}$ - заработная плата одного работника;

T_p - продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

$З_{дн}$ - среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата высчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{м}}{Д_{мес}}$$

где $З_{м}$ - месячный должностной оклад работника, руб.;

$Д_{мес}$ - количество рабочих дней, раб. дн.

Таблица 20- Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад	Средняя заработная плата работника, руб.	Продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.	Основная заработная плата одного работника, руб.
Руководитель	35120	1400	10	14000
Бакалавр	12300	615	100	61500
Итого				75500

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают оплату при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

где $k_{\text{доп}}$ - коэффициент дополнительной заработной платы на стадии проектирования принимается равным 12–15%.

Таблица 21- Расчет полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы, $k_{\text{доп}}$, %.	Основная заработная плата одного работника, $З_{\text{осн}}$, руб.	Дополнительная заработная плата, $З_{\text{доп}}$, руб.	Полная заработная плата, $З_{\text{п}}$, руб.
Руководитель	15	14000	2100	16100
Бакалавр	12	61500	7380	68880
Итого		72380	9000	84980

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной разделе расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}})$$

где $k_{\text{внеб}}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

В соответствии с Федеральным законом установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 84,98 = 25,6 \text{ тыс. руб.}$$

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: амортизация активам, расходы, связанные с рекламой и т.д. Их величина составляет 16% от общей суммы затрат на проектирование.

Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования сметы затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение сметы затрат на технический проект приведен в таблице 10.

Таблица 22- Смета затрат технического проекта

Наименование раздела	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
Материальные расходы	1,0	0,8
Затраты по полной заработной плате исполнителей ТП	85,0	64,4
Отчисления во внебюджетные фонды	25,6	19,4
Накладные расходы	20,3	15,4
Итого	131,9	100

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 100 раб. дней для дипломника и 10 раб. дней для научный руководителя.

Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 131,9 тыс. руб., из которых более половины (64%) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где I_{pi} - интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i - весовой коэффициент разработки;

b_i - балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к системе электроснабжения промышленных предприятий:

1. Эргономичность: оптимальная условия труда с целью увеличения производительности и сохранения сил, времени, энергии, работоспособность и здоровья человека;
2. Ремонтопригодность: долговечности и увеличения срок эксплуатации электроустановки;
3. Безопасность: обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического;
4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии: качество электроэнергии, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 13109-97;
5. Надежность: бесперебойное снабжение электроэнергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды;
6. Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и адаптивного по

конструкции техническим характеристикам электрооборудования на предприятии;

7. Энергоэффективность: использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня потребления энергии в зданиях либо при технологических процессах на производстве.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 23.

Таблица 23- Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
Эргономичность	0,13	5
Ремонтопригодность	0,16	5
Безопасность	0,14	4
Обеспечение надлежащего качества электроэнергии	0,18	4
Надежность	0,15	5
Простота и удобство в эксплуатации	0,09	4
Энергоэффективность	0,15	5
Итого	1	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_p = 5 \cdot 0,13 + 5 \cdot 0,16 + 4 \cdot 0,14 + 4 \cdot 0,18 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,09 + 5 \cdot 0,15 \\ = 4,6$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что

технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для трех исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.
- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства площадки сбора руды путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

Заключение

В настоящей выпускной квалифицированной работе спроектирован и разработан электропривод перемещения индуктора закалочного станка. Электромеханические характеристики электропривода, ограниченные значениями $\omega = \omega_{\text{макс}}$ и $I = I_{\text{доп}}$, удовлетворяют номинальным значениям области существования характеристик проектируемой системы тиристорный преобразователь- двигатель.

При исследовании линейной САУ РЭП показатели переходных процессов сошлись с теоретическими значениями.

В заключительном разделе приведено моделирование работы электропривода в Matlab. Результаты моделирования показали, что исследуемый электропривод полностью соответствует требованиям технологического процесса. Был произведен пуск электропривода на максимальную и минимальную скорость, пуск на максимальную скорость и реверс и пуск на максимальную скорость и торможение.

